TRABAJOS ORIGINALES

Unidad de Cuidados Intensivos
Hospital Militar Central: "Dr. Luis Díaz Soto"

COMPARACIÓN DE LA SATURACIÓN ARTERIAL DE OXIGENO POR OXIMETRÍA DE PULSO Y GASOMETRÍA ARTERIAL

Dr. Jorge Luis Ayala Pérez,[1] Dr. Armando Padrón Sánchez,[1] Dr. Rafael Brunet Rodríguez,[2] Dr. Andrés Quiñones Zamora,[3] Dra. Tania Salazar González[3] y Lic. Ana Margarita Martínez González[4]

RESUMEN

La oximetría de pulso es actualmente un importante método de la monitorización no invasiva de las unidades de cuidados intensivos porque ofrece una lectura confiable y constante de la saturación de la hemoglobina arterial. Se tomaran 200 mediciones por hemogasometría convencional realizada con un gasómetro de la firma AVL y 200 muestras realizadas por oximetría de pulso con el equipo OXI 9800, todas efectuadas al mismo instante y con el mismo paciente con el propósito de comparar los valores de la saturación de la hemoglobina en sangre arterial obtenidos por ambos métodos. Se utilizó el estadígrafo de Mann-Whitney como prueba de hipótesis. Ambas formas de medición resultaron sin diferencias significativas en cuanto a resultados diferentes, por lo que consideramos a la medición de la saturación de la hemoglobina arterial por oximetría de pulso con resultados tan confiables como los realizados por la hemogasometría convencional. La oximetría de pulso es un método para la monitorización continua de la saturación de la hemoglobina, ya que expresa resultados similares al método convencional y ofrece otras ventajas por ser una forma de medición no invasiva. Se recomienda el uso de la oximetría de pulso como monitoreo constante en pacientes que se necesite un seguimiento de su concentración de oxigeno en sangre arterial.

Palabras claves: oximetría, hemogasometría.

---

[1] *Especialista de I Grado en Medicina Interna. Diplomado en Cuidados Intensivos. Instructor.*
[2] *Especialista de I Grado en Medicina General Integral. Diplomado en Cuidados Intensivos. Instructor.*
[3] *Especialista de I Grado en Medicina General Integral. Diplomado en Cuidados Intensivos.*
[4] *Licenciada en Matemáticas.*

INTRODUCCIÓN

El monitoreo continuo de los signos vitales, las condiciones hemodinámicas, respiratorias y hemogasométricas constituyen pilares básicos de la vigilancia intensiva a la que se someten los pacientes ingresados en las Unidades de Cuidados Intensivos; en la mayoría de los casos por su propia gravedad es imposible que la mayoría de los enfermos puedan referir, por sí mismos, los síntomas y alteraciones que presentan, por eso, adquieren extraordinario valor los complementarios o medios auxiliares diagnósticos que utiliza el personal médico para apoyarse en sus decisiones terapéuticas.

La gasometría arterial constituye uno de estos complementarios que realiza frecuentemente el médico; pero tiene el inconveniente que es un método invasivo que requiere de obtención de una muestra de sangre arterial por punción de la arteria, aunque sea solo una vez o siempre que se realice el análisis; sus determinaciones, además, son discontinuas, debiendo esperarse hasta la próxima toma de la muestra para conocer las condiciones del paciente.

Dentro de los resultados de la hemogasometría tenemos la saturación arterial de oxigeno; la cual puede obtenerse también por métodos no invasivo. En general, en estos momentos hay una tendencia mundial a la construcción de equipos de medición de parámetros biológicos por métodos no invasivos (sensores de superficie) que son utilizados en el monitoreo continuo de los pacientes. Teniendo en cuenta que en nuestra unidad se emplean frecuentemente los oxímetros de pulso y que la regla de oro para la determinación de la saturación arterial de oxigeno lo sigue constituyendo la hemogasometría, nos decidimos a la realización de este trabajo con el fin de validar las lecturas del oxímetro de pulso, o sea evaluar la correspondencia entre los valores de la saturación de la hemoglobina arterial obtenida por medición hemogasométrica directa con los valores que se traduce las mediciones del oxímetro de pulso[1,2,3]. La oximetría de pulso proporciona valores estimados de la saturación de la oxihemoglobina arterial utilizando luz de longitudes de onda seleccionadas para determinar no invasivamente la saturación de oxihemoglobina.[1-4]

La oximetría de pulso se fundamenta en la espectrofotometría clásica que permite calcular la concentración de una sustancia en solución a partir de su absorción óptica a una longitud de onda determinada; con la llamada ley de Beer. La sustancia que se está analizando se ilumina y se mide cuanta absorbe; de tal medida se calcula la concentración. Dicha técnica analítica también establece que para analizar dos sustancias en solución se necesitan dos longitudes de onda. En el caso de la sangre, hay dos sustancias relevantes a la oxigenación que son la Hemoglobina (Hb) y la oxihemoglobina ($Hb0_2$); como son dos; los oxímetros tienen dos longitudes de onda: roja e infrarroja. La desoxigenación de la sangre causa absorción creciente en la banda roja y decreciente en la banda infrarroja. Estas direcciones opuestas en la absorción de los dos colores al variar la oxigenación contribuyen a que haya cambios ópticos apreciables más fáciles de medir, lográndose así más precisión. Estos colores, son además, donde mayor eficiencia lumínica tienen los diminutos emisores de luz que usan los oxímetros lo cual permitió reducir substancialmente el tamaño del equipo.[5-10] El oxímetro de pulso es un aparato que combina los principios de la oximetría por espectrofotometría y la pletismografía.[11-14] En la espectrofotometría clásica, el análisis se realiza en cubetas de vidrio en los cuales se deposita la muestra de sangre arterial. En cambio el oxímetro de pulso utiliza el dedo mismo del paciente como cubeta. Esto trae la complicación de que la sangre además de la arterial incluye la venosa y otros tejidos como huesos, uñas y la piel. Para distinguir la sangre arterial entre todos estos tejidos, el oxímetro de pulso utiliza la técnica descubierta en 1974 por el japonés Takuo Aoyagi: analiza únicamente la parte pulsátil de la señal

óptica que se debe exclusivamente a la sangre arterial. Es por esto el énfasis que se hace en el nombre del oxímetro al agregarle de "PULSO" cuando nos referimos a él. Si no hay pulsación arterial el oxímetro no puede distinguir la sangre arterial que es el objeto de su análisis.[15,16]

MÉTODOS

Se realizó un estudio descriptivo, comparativo, prospectivo y longitudinal en la Unidad de Cuidados Intensivos de Adultos del Hospital Militar Central: "Dr. Luis Díaz Soto". La muestra estuvo integrada por 83 pacientes a los cuales se les realizó entre 2 a 3 tomas de muestras de hemogasometrías arteriales coincidiendo con la medición de la saturación de la hemoglobina por oximetría de pulso. Teniendo en cuenta el objetivo y variable de respuesta se estimó que el número de las mediciones fuera de 200 determinaciones para la hemogasometría y de 200 para la determinación de la saturación de la hemoglobina por oximetría de pulso, colimando ambas mediciones simultáneamente. Se usó el método de los intervalos de confianza que permite estimar una región de confianza para la eficacia de la comparación de tamaño 2β y con un nivel confianza del 5%. El cálculo del tamaño de la muestra se realizó de forma automatizada mediante la hoja de cálculo del programa EXCEL soportado en WINDOWS`98 con el nombre de archivo t-muestra. En este caso se tomó α=0,005, Po = 60%, 2β=0,2 (tamaño del intervalo) y un 5% de la pérdida.[17]

Los individuos a los cuales se les realizó las mediciones fueron elegidos por muestreo aleatorio simple, las tomas de los valores de la saturación de la hemoglobina por gasometría arterial y oxímetro de pulso fueron realizadas bajo supervisión estricta del autor o tutor de la investigación. El oxímetro de pulso utilizado fue el de la serie OXY 9800 de fabricación Cubana por el ICID para monitoreo estacionario con el adaptador externo MF 40 y una fuente de alimentación de corriente alterna de 110 volts y 60 ciclos. Se utilizó el sensor de presilla SN 9800 diseñado para monitoreo hasta 2 horas. El equipo fue colocado en posición horizontal o en soportes de suero vertical, el paciente se mantuvo inmóvil, colocándose el sensor en su dedo índice, el valor tomado correspondió al que señalaba la pantalla cuando desapareció la letra "aprendizaje" y los valores ya no eran instantáneos sino los promediados sobre los último 8 pulsos del paciente. Como criterios de exclusión se tomó aquellas mediciones en las cuales los LED pulsaban solo hasta la región naranja, lo que indicaba señal débil, así como también la aparición de pleca en la pantalla del oxímetro de pulso que indica señal de interferencia o un mensaje de error. El oxímetro de pulso se mantuvo a la altura del corazón del paciente el dedo índice de la mano que no tuviera línea arterial o manguito de presión para la medición de la presión arterial y preferiblemente sin infusión intravenosa. El dedo se introdujo hasta el tope interior de la presilla con la uña colocada contra los LEDs colocando el cable por la parte posterior del dedo. La limpieza del sensor se realizó con alcohol al 70%. Los valores arteriales de la saturación de la hemoglobina por hemogasometría se realizaron mediante punción directa de la arteria radial o femoral con aguja # 20 larga y fluido espontáneo hacia la jeringa, la medición fue realizada con un gasómetro de la firma AVL computarizado, por el método de jeringa, calibrado para tal fin en el laboratorio de la UCIA del centro. Ambos valores de la saturación fueron llevados a una planilla para su comparación y validación mediante un procesamiento matemático. Los datos fueron recogidos por el autor o tutor y plasmados en una planilla recolectora confeccionada para tal efecto. Se confeccionó una base de datos utilizando el paquete estadístico SAS para WINDOWS, utilizando para ello una PC. Para el procesamiento matemático de la muestra se utilizó el teste de Mann-Whitney.

RESULTADOS

Los valores de la saturación de la hemoglobina obtenidos mediante las mediciones por hemogasometría arterial a través de la punción de una arteria y por oximetría de pulso, expresaron comportamientos de sus valores medios y desviaciones estándar muy similares como se expone en la **Tabla # 2**. Vemos que los valores medios tienden a ser muy parecidos en un rango que difiere menos de la unidad, siendo sus desviaciones estándares muy pequeñas, lo que traduce una variabilidad muy escasa de los intervalos numéricos en que se mueve la variable estudio. Dicho de otro modo el porcentaje de saturación de O_2 de la hemoglobina medido por hemogasometría y por oximetría de pulso arrojan mediciones significativamente similares. Hemos calculado el porcentaje de confiabilidad de la medición de la saturación de oxigeno de la hemoglobina, medido por oximetría pulsátil, tomando como patrón de referencia las mediciones hechas con el método convencional por punción arterial y leída en un equipo AVL (hemogasometría) que es un método validado y usado mundialmente.

Tabla # 1. Fórmula construida para evaluar el porcentaje de confiabilidad.

$$\%\,C = \frac{OP}{GA} \times 100$$

OP = valor de la HbO2sat por oximetría de pulso
GA = valor de la HbO2sat por hemogasometría convencional
%C = porcentaje de confiabilidad

Tabla # 2. Distribución de la media y la DE de la muestra de ambos grupos.

GRUPOS	MEDIA	DESV. ESTANDAR
Grupo 1 (hemogasometría)	*97,61 % de HbO_2sat*	*2,39*
Grupo 2 (pulsioximetría)	*98,13 % de HbO_2sat*	*1,87*

Los resultados obtenidos de los cálculos del rango diferencial entre las dos técnicas y del porcentaje de confiabilidad de la oximetría de pulso se pueden observar en la **Tabla # 3**, donde se exponen los valores.

Tabla # 3. Rango diferencial y porcentaje de confiabilidad de las mediciones.

RANGO DIFERENCIAL	*0,52*
PORCENTAJE DE CONFIABILIDAD	*99,47 %*

El rango de diferencial se usa para establecer la diferencia entre dos mediciones de un mismo fenómeno, pero cuyas mediciones, fueron hechas por diferentes tecnologías, métodos o personal humano. No debe exceder la unidad o sea debe ser menor de 1 para que se considere un rango adecuado; en este caso el valor fue de 0,52 que es un resultado adecuado. El porcentaje de confiabilidad (**Tabla # 1**) se usa para evaluar el resultado de una medición realizada por un método nuevo o no convencional, se calcula tomando como referencia ideal (100% de confiabilidad) el resultado de la medición del mismo fenómeno pero realizado por el método convencional más efectivo, conocido y validado. Su resultado es fácil de interpretar puesto que su fórmula es una relación expresada en por cientos; o sea mientras más cerca del 100 se encuentre el resultado mayor será el porcentaje de confiabilidad, y por ende, más aceptable será la nueva forma de medición. En el estudio el por ciento de confiabilidad de la medición de la saturación de la hemoglobina obtenida por oximetría de pulso resultó ser del 99,47%.

DISCUSIÓN

Cuando se evalúan mediciones en tiempos no simultáneos otro aspecto a tener en cuenta en la validación de dos elementos diferentes que miden un mismo fenómeno por métodos diferentes lo constituye lo que llamamos momento real y momento virtual de la

medición (otros autores le llaman momento estático y momento dinámico). Sea cual fuese su sinonimia, la diferencia estriba en que la saturación de la hemoglobina obtenida por hemogasometría convencional es una medición real en un momento estático, pues cuando la sangre fluye a la jeringa con ella se expresa el único valor de la variable que se puede medir en esa ocasión y si queremos conocer al instante siguiente el valor de la saturación no podemos hacerlo, pues el proceder de volver a puncionar la arteria extraer la sangre y procesarla en el laboratorio nos lleva más de un "instante", por lo que, la medición de la saturación de la hemoglobina por hemogasometría es una medición de momento real o estático. Sin embargo el oxímetro de pulso nos está informando secuencialmente el valor de la saturación "instante a instante", aunque el valor en pantalla expresa el promedio de los 8 últimos pulsos, la lectura de los LEDs está en el orden de los milisegundos y el número expresado en pantalla cambia constantemente, por lo que la medición es dinámica o virtual. Esta diferencia hace que el momento M1 (momento de la medición por hemogasometría) y el M2 (momento en la medición por pulsioximetría) no sean iguales (se cumple que $M1 \neq M2$) aunque parezcan coincidir en el tiempo. Esta característica en la desigualada de los momentos de las mediciones introduce un margen de error que es proporcional al número de mediciones individuales, por lo que el "sesgo" es amplio. Para "controlar" este efecto se pueden usar algunos métodos matemáticos no paramétricos, siendo uno de los más conocidos el test de Mann-Whitney, que fue el utilizado en este estudio. La hipótesis nula (Ho), considerada en dicha prueba, es que las dos muestras de la población no difieren en la posición.

En este estudio la hipótesis Ho es que las mediciones de la saturación tanto por un método que por el otro no tienen diferencias significativas. La hipótesis alternativa H1 se refiere a que las mediciones no son similares. Después de realizados los ajustes entre las dos muestras se obtiene un valor p mayor que la significación (α) prefijada lo que nos indica que la hipótesis nula (Ho) es cierta, no rechazando la misma. Se concluye que los valores de la saturación de oxigeno de la hemoglobina es similar tanto medida por hemogasometría como por oximetría de pulso. Los detalles pueden observarse en la **Tabla # 4**, donde están contemplados los valores numéricos. Podemos concluir que las lecturas de las mediciones de la saturación de la hemoglobina por oximetría de pulso han sido validadas mediante la comparación, racional y matemática, con los valores obtenidos directamente por la medición de la gasometría arterial. La saturación de la hemoglobina medida por oximetría de pulso es apropiada para el monitoreo continuo y prolongado, puede ser adecuada cuando no es preciso valorar el balance ácido-básico y/o la presión parcial de oxigeno en sangre arterial. Puede ser suficiente cuando la medida directa por hemogasometría no esté disponible en un tiempo permisible para tomar una conducta médica. Estos resultados son similares a otros estudios realizados y consultados.[1, 4, 6, 9, 10,14]

Tabla # 4. Valores del test de Mann-Whitney

	Grupo 1	Grupo 2						Grupo 1	Grupo 2
variable	Σ n+1	Σ n+1	U	Z	p-nivel	Z. ajuste	p-nivel	valor n	valor n
Datos	3904	39255	18944	-.91294	.361276	-.920580	.35727	200	200

Como p >α; se cumple Ho (p = 0,351276 > α=0,005)

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Moran RF, Clausen JI, Ehrmeyer SS, Fiel M, Van Kessel AI. Oxygen content, hemoglobin oxigen, saturation and related quantitics in blood; terminology, measurement and reporting, national committe for clinical Loboratory Satndards 1990; 525-p. 10: 1-49.
2. Schanapp LM, Cohen NH. Pulse oximetry-uses and abuses. Chest 1990; 98: 1244-1250.

3. Welch JP, De Cesare MS, Hess D. Pulse Oximetry: instrumentation and clinical applications. Respir Care 1990; 35: 584-601.
4. Jubran A, Tobin MJ. Relability of pulse oximetry in tritrating supplemental oxygen therapy in ventilator dependet patients. Chest 1990; 97: 1420-1425.
5. Task Force on Guidelines, Society of Critical Care Medicine. Guideline for standards of care for patients with acute respiratory failure on mechanical ventilatory support. Crit Care Med 1991; 19: 275-278
6. Misian DR, Meyerhoff ME, Collision ER. Current and future directions in the technology relating to bedside testing of critically ill patients. Chest 1990; 97: 2045-2145.
7. Hannhart B, Michael H, Delomere N, Chaparro G, Pulo JM. Reliability of six pulse oximetrs in chronic obstructive pulmonary disease. Chest 1991; 99: 842-846.
8. ECRI Health Devices Alert. 1990- A - 26. Plymouth Meeting PA. ECRI . June 29; 1990.
9. Chanan C, Decker MJ, Hoeckel OL, Strohl KP. Agreement between noninvasive oximetric values for oxygen saturation. Chest 1990; 97: 814-819.
10. Hannhar B, Habberer JP, Saunier C, Laxenaire MC. Accuracy and precision of fourteen pulse oximetrs. Eur Respir Care 1991; 4: 115-119.
11. Chelluri L, Snyder JV, Bird R. Accuracy f pulse oximetry in patients winth hyperbilirubinemia. Respir Care 1991; 36: 1383-1386.
12. Ries AL. Position paper of the American Association of cardiovascular and pulmonary rehabilitation. J Cardiopul Rehab 1990; 10: 418-441.
13. Zaloga GP. Evaluation of bedside testing options for the critical care unit. Chest 1990; 97: (5, Suppl): 1755-1905.
14. Manual del usuario. Oxy 9800. Versión 3,2 Agosto. 1996
15. Curso avanzado de apoyo vital en trauma para médicos (ATLS) pág. 63. Subcommite of ATLS. Commite of Trauma. The American Collage of Surgeons. 1992-1996.
16. Manual de usuario. Oxy 9800 versión 2.3 Agosto. 1996.
17. Marruga IT, Vila Paves M, Sanz F. Estimación del tamaño de la muestra en la investigación clínica y epidemiológica. Med Clinica 1998; Vol 101 7: 267-276.